

VU Research Portal

Unravelling the Rhine

Busschers, F.S.

2008

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Busschers, F. S. (2008). *Unravelling the Rhine: Response of a fluvial system to climate change, sea-level oscillation and glaciation*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

NEDERLANDSE SAMENVATTING

INTRODUCTIE

Gedurende het Midden en Laat Pleistoceen werden er grote hoeveelheden, voornamelijk grofzandig sediment geproduceerd in het stroomgebied van de Rijn en Maas. Veel van dit sediment werd afgezet in het Nederlandse deel van het zuidelijk Noordzee gebied waar het nu een 10-30m dikke, gestapelde opeenvolging vormt van voornamelijk grove zandlagen. De zanden zijn voor Nederland van groot economisch belang en zijn een bron voor onder andere zand- en grindwinning (beton- en metselzand) en grondwateronttrekking.

De laat Midden Pleistocene (*Saalien*; ~350.000 - 300.000 jaar tot 128.000 jaar geleden; Fig. 2.6) en Laat Pleistocene (*Eemien*, *Weichselien*; 128.000 - 11.700 jaar geleden; Fig. 4.3) Rijn-Maas sedimenten werden afgezet tijdens sterk wisselende klimaat condities. Fasen van extreme kou ('stadialen') werden afgewisseld door meer gematigde periodes ('interstadialen') waarin vegetatie, neerslag en temperatuur af en toe sterk overeenkwamen met de huidige. Gedurende de meest extreem koude fasen, vond er tevens sterke uitbreiding plaats van de Scandinavische en Britse ijskappen waarbij het landijs zich meerdere keren tot in Nederland uitbreidde. Gedurende deze (mondiale) fasen van landijsuitbreiding, vond er sterke zeespiegeldaling plaats waardoor grote delen van het huidige Noordzee gebied droog kwamen te liggen. Dit proefschrift behandelt de vraag in welke mate deze klimatologische, glaciële en zeespiegel veranderingen invloed hebben gehad op de sediment opeenvolging van het Rijn-Maas rivier systeem zoals die thans voorkomt in de Nederlandse ondergrond. Hierbij is er gebruik gemaakt van sedimentair onderzoek aan de Rijn-Maas sedimenten en is er gebruik gemaakt van een computermodel.

Het sedimentaire onderzoek is gebaseerd op 1) een set continu-gestoken, 20-50 m diepe kernen die verzameld zijn op verschillende locaties in centraal en oost Nederland en 2) op een grote hoeveelheid gegevens uit de digitale (DINO) database van TNO Bouw en Ondergrond (Geologische Dienst). De monsters zijn lithologisch, sedimentologisch en petrologisch ('zware mineralen analyse') geanalyseerd. Op een groot aantal zandmonsters is tevens Optisch Gestimuleerde Luminescentie toegepast, een techniek om de periode van afzetting van de zandlagen te kunnen bepalen. Zandkorrels kunnen vertellen hoe lang ze ergens begraven gelegen hebben. Dit doen de korrels met een miniem lichtsignaaltje dat ze kunnen uitzenden als ze worden beschenen met licht van een bepaalde golflengte. Dit verschijnsel wordt Optisch Gestimuleerde Luminescentie (OSL) genoemd. Het luminescentiesignaal van de zandkorrels bouwt op onder invloed van natuurlijke radioactiviteit van de omgeving, en wordt op nul gezet wanneer de zandkorrels worden blootgesteld aan zonlicht. Het luminescentiesignaal vormt daarmee feitelijk een klok: de klok wordt op nul gezet tijdens transport van de zandkorrel, en begint te tikken als de korrel begraven wordt. Hoe langer geleden een afzetting is gevormd, hoe groter het luminescentiesignaal in de korrels nu zal zijn.

De sedimentaire en ouderdom analyse resultaten laten zien dat de Rijn-Maas sedimenten bestaan uit een aantal, 5-10 m dikke, op elkaar gestapelde (grof)zandige en soms kleiige eenheden die worden begrensd door scherpe erosie vlakken ('bounding surfaces') (H2, 3, 4). Uit de samenstelling, positie en ouderdom van deze eenheden kon een nauwkeurige reconstructie worden gemaakt van de ontwikkeling van het Rijn-Maas systeem in de loop van de tijd en de factoren die deze ontwikkeling bepaalden.

HET RIJN-MAAS SYSTEEM IN HET SAALIEN

Er kon worden aangetoond dat er voorafgaand aan de laatste ijsbedekking van Nederland in het laat Saalien, in Nederland een aantal zuidoost-noordwest georiënteerde Rijn-Maas rivierlopen aanwezig waren (H4). Uit deze pakketten zijn de tot nu toe oudste OSL dateringen verkregen van Rijn-Maas sediment in Nederland, sommige van deze OSL uitkomsten geven een ouderdom van 360.000 jaar. Mogelijk vond er tijdens afzetting van deze pakketten ijsbedekking plaats van Noord Nederland maar dit dient nog beter te worden onderzocht door middel van nieuw dateringonderzoek in Noord Nederland. Dit 'oude' drainage patroon veranderde volledig als gevolg van de Drente ijsbedekking die plaatsvond tijdens de laatste fase van het Saalien (~180.000 - 130.000 jaar geleden) waarbij het grootste deel van Noord-Nederland door Scandinavisch landijs van enkele honderden meters dikte werd bedekt. In eerste instantie kwam het de zuidgrens van het landijs ongeveer op de lijn Texel-Gaasterland te liggen en werden er zeer grove afzettingen gevormd in een zo-nw georiënteerde zone die ruwweg liep van Nijmegen naar Lelystad. Afzettingen van dit systeem zijn beschreven in een tijdelijke ontsluiting langs de A27 bij Leusderheide (H4). Aan de basis van dit zandpakket zijn vuursteen artefacten beschreven welke gemaakt werden door mensen die in de warmere fase voorafgaand aan de ijsbedekking in Nederland leefden.

EEN SAALIEN SUPERMEER?

Het Rijn-Maas systeem werd in de volgende fase van de glaciatie, overreden door naar het zuiden bewegende ijslobben. Hierbij werden de grote stuwwallen van centraal Nederland gevormd zoals die onder andere op de voorkant van deze dissertatie zijn afgebeeld. Het Rijn-Maas systeem werd gedwongen zijn loop te verleggen naar west Nederland waar het gedurende relatief korte tijd fungeerde als een proglaciaal rivier systeem (H4). De afzettingen van Rijn en Maas uit deze periode komen voor in een opvallend hoge positie binnen de sedimentaire record. Dit is een sterke aanwijzing dat gedurende deze fase het base-level van het Rijn-Maas veel hoger lag dan gebruikelijk. In H4 is dit verklaard door de aanwezigheid van een groot zoetwatermeer dat het gehele huidige zuidelijke Noordzee gebied bedekte (H4). Dit meer bestond geheel onafhankelijk van de zeespiegel die minimaal honderd meter lager stond dan. Het meer kon zich vormen doordat 1) in het centrale Noordzee gebied de Scandinavische en Britse ijskappen contact maakten en dus een barrière vormden en 2) er in het huidige Straat van Dover gebied nog steeds een barrière aanwezig was van kalksteen (m.a.w. de kalken die nu zichtbaar zijn aan weerszijden van het Nauw van Calais waren nog met elkaar verbonden). Aan het einde van de Drente glaciatie vond er zeer sterke insnijding plaats van zowel de Rijn als Maas. Tijdens de insnijding vormde de Maas een tak door het Nauw van Calais terwijl de Rijn, die ondertussen zijn loop had verlegd naar een positie in het huidige IJsseldal, waarschijnlijk zijn weg vervolgde naar het Noord Atlantische gebied. De insnijding is verklaard als een gevolg van het (mogelijk catastrofaal) leeglopen van het grote zoetwatermeer doordat de barrière in het Nauw van Calais geërodeerd werd of deels doorbrak en er zeer sterke verlaging van de erosiebasis plaatsvond (H4). De gebeurtenissen zoals die plaatsvonden aan het einde van het Saalien waren allesbepalend voor de perioden die daarop volgde (Eemien, Weichselien). De glaciatie leidde tot een situatie waarin de Rijn via het IJsseldal door noordwest Nederland stroomde terwijl de Maas overbleef in west Nederland, een situatie die tot ver in het Weichselien zou bestaan.

HET RIJN-MAAS SYSTEEM IN HET EEMIEN

Zeespiegelstijging en klimatologische opwarming beïnvloedde de sedimentatie in Nederland gedurende het Eemien interglaciaal (130.000 - 117.000 jaar geleden) en delen van het Weichselien Vroeg Glaciaal (117.000 - 75.000 jaar geleden) (H3). Vooral op de plekken waar het landijs diepe subglaciale depressies had uitgeschuurd werden afzettingen gevormd die in direct verband

kunnen worden gebracht met (relatieve) zeespiegelstijging. Delen van afzettingen laten een opvallend sterke sedimentaire overeenkomst zien met afzettingen uit de eerste helft van het huidige interglaciaal (Holoceen) (H3). In het gebied van het huidige IJsseldal vormde de Rijn een delta die sterke overeenkomsten vertoonde met de huidige Rijn-Maas delta. De Maas vormde een kleinere delta in west Nederland (H2, H3). Tijdens het Eemien lag de kustlijn veel verder landinwaarts dan in het Holoceen. Zo kende noord Nederland mariene condities tot bij Amersfoort en Kampen terwijl de kustlijn in het gebied ten zuiden van de Saalien stuwwallen ongeveer op de hoogte van Gouda lag (H2, 3). De aanwezigheid van bepaalde mariene schelpen in het sediment uit het Eemien, toont aan dat er zich (als gevolg van de gebeurtenissen tijdens de Drente glaciatie), voor het eerst een belangrijke mariene verbinding had kunnen ontwikkelen tussen het Noordzee en Lusitanisch gebied.

HET RIJN-MAAS SYSTEEM IN HET WEICHSELIEEN

De kustnabije condities bestonden mogelijk ook nog tijdens een deel van het Vroeg Glaciaal, de eerste fase van het Weichselien waarvoor tevens aanwijzingen zijn voor de eerste sterke afkoelingsfasen van het noordwest Europees klimaat. Tijdens deze fase, welke ongeveer 40.000 jaar duurde, lijkt het Rijn-Maas systeem vrij inactief te zijn geweest. Op de overstromingsvlakten vond af en toe afzetting plaats van klei maar vorming van veen en verspoeling van vegetatie overheersten.

Aan het begin van het Weichselien Vroeg Pleniglaciaal (75.000 – 60.000 jaar geleden) vond er zeer sterke afkoeling plaats van het klimaat. In grote delen van het Rijn-Maas stroomgebied verdween de bosvegetatie en ontwikkelde zich permafrost. Waarschijnlijk vond er tevens ijsuitbreiding plaats vanuit het Scandinavische gebied. Een enorme verandering in het hydrologische regime in de rivieren veranderden de Rijn en de Maas in zeer actieve, lateraal migrerende riviersystemen. In combinatie met een sterke daling van het zeeniveau, leidde dit tot erosie van de oudere mariene afzettingen uit het Eemien en Vroeg Glaciaal. Het bewijs hiervoor zijn dikke pakketten geremanieerde mariene schelpen die als een markant niveau voorkomen aan de basis van de Vroeg Pleniglaciale Rijn en Maas afzettingen (H2, H3). De resultaten uit dit proefschrift laten zien dat zand en grind aanvoer uit het achterland gedurende deze fase nog steeds erg laag was, iets wat verklaard is door middel van de aanwezigheid van (relict)bodems uit het voorafgaande Eemien en Vroeg Glaciaal die de bodem beschermde tegen sterke erosie.

Vanaf ongeveer 45.000 jaar geleden (Midden Pleniglaciaal) begon de sedimentaanvoer uit het Rijn-Maas stroomgebied sterk toe te nemen, iets wat samen lijkt te vallen met het algemene voorkomen van koudere klimaat fasen in zowel de Groenlandse ijskap als terrestrische klimaat records. Geleidelijke sedimentatie in het IJsseldal gebied leidde ertoe dat omstreeks 40.000 jaar geleden de Rijn de mogelijkheid kreeg om een nieuwe (kortere) loop te ontwikkelen door west Nederland ten zuiden van de Saalien stuwwallen reeks. Vanaf dit moment verliet de Rijn definitief het noord Nederlandse gebied. Vanaf ongeveer 30.000 jaar geleden, het begin van het Laat Pleniglaciaal, vond er wederom zeer sterke afkoeling en verdroging plaats van het klimaat in noordwest Europa. Overal in het Rijn-Maas stroomgebied verdween de vegetatie grotendeels en ontwikkelde er zich permafrost. In Nederland vond er na een fase van sterke insnijding (zie alinea over glacio-isostasie) afzetting plaats van zeer grove grindrijke zanden in een verwilderde riviervlakte. In gebieden waar de rivier niet actief was vond afzetting plaats van aeolisch sediment ('dekzand').

Klimaat verandering gedurende de laatste ~4000 jaar van het Weichselien (Laat Glaciaal) en de hieraan gerelateerde verandering in vegetatie, sediment- en wateraanvoer, veroorzaakte sterke veranderingen in het Rijn-Maas systeem. Netto vond er een overgang plaats van het (Laat

Pleniglaciaal) verwilderde rivierpatroon naar een meanderend rivierpatroon en verlaagden de riviervlaktes zich sterk. Deze Laat Glaciaal afzettingen vormen het grootste deel van de top van de 'Pleistoceen' dat nagenoeg overal voorkomt onder de huidige Holocene rivierafzettingen. Hoewel het Laat Glaciaal officieel nog deel uitmaakt van het Pleistoceen, is deze fase vanuit een sedimentair oogpunt feitelijk al de aanzet tot het Holoceen interglaciaal waarin we nu leven.

GLACIO-ISOSTASIE IN HET WEICHSELIEEN

Reconstructies van de ijsbedekkingen in Scandinavië en Groot-Brittannië laten zien dat er vanaf ~35.000 jaar geleden zeer sterke ijsuitbreiding plaatsvond (het landijs bereikte Nederland echter niet zoals in het Saalien). Een belangrijk nieuw gegeven wat uit dit onderzoek naar voren is gekomen is dat korstbewegingen gerelateerd aan deze ijsuitbreidingen ('glacio-isostasie') een sterke invloed hebben gehad op de laterale dynamiek en het insnijdingsgedrag van het Rijn-Maas systeem (H3). Door de ijsbedekking in voornamelijk Scandinavië werd de aardkorst in dat gebied omlaag gedrukt waardoor in het gebied voor het ijs de aardkorst licht werd opgedrukt. Dit ontstane hoog wordt ook wel 'forebulge' genoemd en het maximum van deze opheffing (ongeveer 30m), lag ter hoogte van de huidige Waddeneilanden. De reconstructie voor het tijdsvak 30.000 - 11.000 jaar geleden laat zien dat het Rijn-Maas systeem zich tijdens de opbouw van de forebulge diep insneed en netto naar het zuiden (van het hoog af) migreerde. Tijdens afsmelten van het Scandinavische ijs en het inzakken van de 'forebulge' gebeurde het omgekeerde, hoewel dit beeld zeer complex is omdat het ook samenvalt met een klimaatgecontroleerde toename in sediment aanvoer(H3). Glacio-isostatische bewegingen hebben waarschijnlijk ook plaatsgevonden tijdens oudere glaciaties zoals de Drente glaciatie of glaciatie tijdens het Weichselien Vroeg Pleniglaciaal. Echter, grotere onzekerheden in datering en (ijs)reconstructies voor deze perioden maakt het veel moeilijker om effecten hiervan op de Rijn-Maas ontwikkeling aan te tonen. Dit zal in toekomstig onderzoek moeten worden uitgezocht.

3D COMPUTERMODELLERING: DE RELATIE TUSSEN KLIMAAT EN HET RIJN-MAAS SYSTEEM

Naast de sedimentaire studie is met behulp van een 3D computer (numeriek) model de invloed van klimaatverandering op het Rijn-Maas nader onderzocht (H5). Hierbij is gekeken naar het gehele Rijn-Maas stroomgebied en is er gebruik gemaakt van een digitaal hoogtemodel (DEM) om in drie dimensies zand en grind transport te simuleren. Het model dat hiervoor gebruikt (en aangepast) is, is het Channel-Hillslope Integrated Landscape Development model (CHILD). Hoewel dit model al door andere onderzoekers is gebruikt, is het nog nooit eerder op het Rijn-Maas systeem toegepast en ook niet op een tijdsschaal van 10.000 jaar. De model uitkomsten laten zien dat de invloed van een eenvoudige opgelegde klimaatverandering, bijvoorbeeld een afname in vegetatiebedekking en/of neerslag patroon, kan leiden tot een ruimtelijke zeer complex erosie-sedimentatie patroon in het Rijn-Maas stroomgebied. De resultaten tonen aan het meerdere duizenden jaren duurt voordat significante veranderingen in insnijdings-aggradatie gedrag als gevolg van klimaatverandering wordt geregistreerd in het benedenstroomse (Nederlandse) deel van het stroomgebied. Het model laat zien dat dit vooral is gerelateerd aan de grootte van het Rijn-Maas stroomgebied, waardoor transport van zand en grind door het systeem aanzienlijke tijd kan duren, een effect wat voor kleinere systemen dus minder belangrijk is. De conclusie luidt dan ook dat het voor een groot systeem zoals de Rijn moeilijk is om één op één relaties te leggen tussen insnijdingsgedrag en klimaat verandering.